

การประยุกต์ใช้ดัชนีชีวภาพประเมินคุณภาพน้ำในลำห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สวด จังหวัดตาก
An application of aquatic insects as bioindicators of water quality in Mae Tao
creek, Mae Sot District, Tak Province

นัสรียา หมิ่นหวัง, อำพล พยัคฆา และ แต่งอ่อน พรหมมิ*

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

ศึกษาความหลากหลายทางชีวภาพของแมลงน้ำเพื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวบ่งชี้ทางชีวภาพสำหรับการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ ในลำห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สวด จังหวัดตาก จำนวน 5 จุดเก็บตัวอย่าง ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 โดยใช้ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (Shannon-Wiener index) และดัชนีชีวภาพที่ปรับปรุงและดัดแปลงให้เหมาะสมกับการนำมาใช้กับแหล่งน้ำของประเทศไทย (BMWP^{THAI} และค่า ASPT^{THAI}) พบแมลงน้ำทั้งสิ้น 7,991 มอร์โฟเทกซา จาก 59 วงศ์ ใน 9 อันดับ แมลงน้ำที่พบมากที่สุดคือแมลงหนอนปลอกน้ำในวงศ์ Hydropsychidae อันดับ Trichoptera การใช้ดัชนีชีวภาพที่ปรับปรุงและดัดแปลงให้เหมาะสมกับการนำมาใช้กับแหล่งน้ำของประเทศไทย (BMWP^{THAI} และค่า ASPT^{THAI}) พบว่ามีค่าคะแนนใกล้เคียงกัน ทำให้เกณฑ์คุณภาพน้ำอยู่ในช่วงคุณภาพน้ำปานกลาง เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพโดยการจัดกลุ่มและจัดอันดับเชื่อมโยงกับคุณภาพน้ำโดยใช้ PCA (Principal Correspondence Analysis) พบว่า ค่าคะแนนเฉลี่ย ASPT^{THAI} และค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและปริมาณซัลเฟต

คำสำคัญ: ดัชนีชีวภาพ, แมลงน้ำ, คุณภาพน้ำ

Abstract

The biodiversity of aquatic insects were studied for the application of bioindicator of water quality monitoring at five different stations at Mae Tao creek, Mae Sot District, Tak Province during February 2011 to February 2012. The Shannon-Wiener index, BMWP^{THAI} Score and ASPT^{THAI} were used to assess water quality. A total of 7,991 aquatic insect morphotaxa from 59 families in 9 orders were identified. The most abundant family found during the year was Hydropsychidae in the Trichoptera order. The score of BMWP^{THAI} and ASPT^{THAI} were the same that indicated water quality was moderately class. PCA (Principal Correspondence Analysis) indicated that ASPT^{THAI} and Shannon-Wiener index were related with pH, DO, EC, TDS and sulphate.

Keyword: Biotic index, aquatic insects, water quality

1. บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากเป็นองค์ประกอบสำคัญของเซลล์ มีความจำเป็นต่อหน้าที่และการทำงานของสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตอันเป็นองค์ประกอบในระบบนิเวศ มนุษย์นำน้ำมาใช้เพื่อการบริโภคและอุปโภคในกิจกรรมต่างๆ เป็นเวลานานแล้ว น้ำที่นำมาใช้แล้วจะมีคุณภาพที่เปลี่ยนแปลงไป การขาดการวางแผนในเรื่องการใช้และอนุรักษ์แหล่งน้ำอาจก่อให้เกิดปัญหาทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ ตามมา เช่น ปัญหาน้ำเน่าเสีย เป็นต้น

* ผู้ประสานงานหลัก (Corresponding Author)
e-mail address: faastop@ku.ac.th

ปัญหาการเสื่อมโทรมลงของคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำจัดเป็นปัญหาสำคัญอีกประการหนึ่งนอกเหนือจากปัญหาการขาดแคลนน้ำซึ่งเป็นประเด็นปัญหาใหญ่ระดับโลก ปัญหาเหล่านี้เกิดขึ้นจากการกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ ทั้งกิจกรรมจากการเกษตร กิจกรรมจากบ้านเรือนที่อยู่อาศัยและกิจกรรมจากอุตสาหกรรมที่มีการเพิ่มมากขึ้น จากการพัฒนาและส่งเสริมคุณภาพชีวิตของประชาชน โดยการเน้นการสร้างรายได้ จึงทำให้มีการใช้ทรัพยากรในการผลิตและดำรงชีพ ซึ่งในการใช้ทรัพยากร เช่น การผลิตอุตสาหกรรม การเกษตรและการดำรงชีวิตประจำวันจะทำให้เกิดของเสียสู่สิ่งแวดล้อมเสมอ เมื่อเริ่มมีการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรมากขึ้นก็จะทำให้เกิดของเสียสู่สิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตที่สมบูรณ์ด้วยความหลากหลายทางชีวภาพ เช่น ระบบนิเวศทางน้ำ ดังนั้นเพื่อปกป้องระบบนิเวศและเพื่อสุขภาพของมนุษย์จึงมีการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ ซึ่งมีหลายวิธีที่นอกเหนือจากวิธีการวิเคราะห์ที่ปัจจัยด้านกายภาพและเคมีที่เป็นที่นิยม แต่วิธีการดังกล่าวมีข้อจำกัดคือ มีค่าใช้จ่ายในการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ค่อนข้างสูง และความเข้มข้นของสารพิษที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในเรื่องของช่วงเวลาที่ของเสียถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำและสถานที่ที่เก็บตัวอย่างน้ำ การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำทางด้านเคมีและกายภาพเพียงอย่างเดียวไม่สามารถใช้ได้กับการปล่อยของเสียจากจุดที่ไม่ระบุต้นตอ ซึ่งเป็นเพียงการประเมินผลของคุณภาพน้ำในขณะที่เก็บตัวอย่างน้ำ ไม่สามารถทราบถึงการเปลี่ยนแปลงตามช่วงฤดูกาลได้ การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำโดยใช้ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (bioindicator species) เช่น การใช้สัตว์หน้าดินที่อาศัยอยู่ตามพื้นท้องน้ำ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นตัวอ่อนของแมลงน้ำที่แสดงระดับของผลกระทบจากมลพิษได้ละเอียดกว่าดัชนีทางกายภาพและเคมี จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งนอกจากการใช้วิธีทางกายภาพและทางเคมีที่เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอยู่โดยทั่วไป การใช้สิ่งมีชีวิตเพื่อเป็นตัวบ่งชี้มีค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก โดยอาศัยหลักการทางนิเวศวิทยาที่ว่าสิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดนั้นจะสามารถเจริญได้ดีในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม แต่เมื่อใดที่สภาวะแวดล้อมได้เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้เกิดผลต่อชีวิตและความเป็นอยู่อย่างชัดเจน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแหล่งน้ำชนิดของสิ่งมีชีวิต ความหลากหลาย รวมไปถึงรูปแบบของการแพร่กระจายนั้นเป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมที่อยู่โดยรอบ เมื่อสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปย่อมส่งผลกระทบต่อชีวิตและความเป็นอยู่ของสัตว์เหล่านั้น ถึงแม้ว่าในบางครั้งไม่สามารถที่จะตรวจสอบได้ด้วยวิธีการทางกายภาพและทางเคมีก็ตาม

ลุ่มน้ำห้วยแม่ตาวเป็นลุ่มน้ำที่มีขนาดเล็กอยู่บริเวณอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยภายในพื้นที่ลุ่มน้ำมีทางน้ำธรรมชาติ ประกอบด้วย ห้วยแม่ตาว ห้วยแม่ตาวแงขวา ห้วยแม่ตาวแงซ้าย ห้วยปาปูและห้วยโป่ง ห้วยแม่ตาวเป็นลำน้ำสาขาหนึ่งของลุ่มน้ำนี้มีจุดกำเนิดจากตอยแม่ตาวและตอยเรมา โดยมีทิศทางการไหลของลำน้ำจากทิศตะวันออกสู่ทิศตะวันตกผ่านหมู่บ้านพะเต๊ะและบ้านแม่ตาวลงสู่ลำน้ำเมยทางด้านตะวันตก ขณะที่ลำน้ำบางตอนของห้วยแม่ตาวจะไหลผ่านเหมืองสังกะสีประทานบัตรในพื้นที่ลำน้ำชุมชน ในพื้นที่ลำน้ำมีการใช้ประโยชน์จากห้วยแม่ตาวในด้านการเกษตรกรรม เช่น การปลูกข้าวโพดและถั่วเหลือง และมีการจับสัตว์น้ำในห้วยเพื่อการบริโภค และการใช้น้ำสำหรับการอุปโภคและบริโภคการใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำก่อให้เกิดปัญหาคุณภาพน้ำ การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ ในการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในลำห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก และเปรียบเทียบการใช้ปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพ เคมีและชีวภาพในการประเมินคุณภาพน้ำร่วมกันเพื่อให้เกิดผลที่น่าเชื่อถือยิ่งขึ้น

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 สถานที่ทำการศึกษา

ลำห้วยแม่ตาว อ.แม่สอด จ.ตาก จำนวน 5 จุดเก็บตัวอย่าง ประกอบด้วยบ้านถ้ำเสือ (MT1: 16° 40.546'N, 098° 40.715'E) เป็นแหล่งต้นน้ำไม่ได้รับการปนเปื้อนจากการทำเหมืองแร่ มีชุมชนตั้งอยู่รอบๆ ลำห้วย ลักษณะพื้นที่ท้องน้ำเป็นก้อนหิน กรวดและตะกอนดินเล็กน้อย กระแสน้ำไหลช้า ห้วยแม่ตาว ที่ไหลผ่านบ้านแม่ตาว (MT2: 16° 39.904'N, 098° 40.276'E) เป็นลำห้วยส่วนที่อยู่ใกล้กับการทำเหมืองแร่ ลักษณะพื้นที่ท้องน้ำเป็นก้อนหินขนาดใหญ่ กรวดและทราย กระแสน้ำไหลแรง ห้วยแม่ตาวที่ไหลผ่านบ้านพะเต๊ะ (MT3: 16° 40.288'N, 098° 37.726'E) เป็นส่วนของลำห้วยที่คดเคี้ยวเป็นคูกน้ำ ลักษณะพื้นที่ท้องน้ำเป็นหินก้อนเล็ก กรวด ทรายและตะกอนดิน กระแสน้ำไหลช้า มีบ้านเรือนอยู่รอบๆ ลำห้วย ห้วยแม่ตาวที่ไหลผ่านบ้านแม่ตาวใหม่ หมู่ 4 (MT4: 16° 40.122'N, 098° 36.604'E) มีบ้านเรือนอยู่รอบๆ ลำห้วยเช่นเดียวกับ MT3 และมีการทำการเกษตรรอบๆ ลำห้วย ลักษณะพื้นที่ท้องน้ำเป็นหินก้อน

เล็ก กรวด ทรายและตะกอนดิน กระแสน้ำไหลช้า ห้วยแม่ดาวที่ไหลผ่านบ้านแม่ดาวใหม่หมู่ 5 (MT5: 16° 40.086'N, 098° 35.932'E) เป็นบริเวณปลายน้ำที่ได้รับการปนเปื้อนจากการทำเหมืองแร่ มีการทำการเกษตรรอบๆ ลำห้วย มีฝายกั้นน้ำ พื้นที่ท้องน้ำมีลักษณะเป็นกรวด ทรายและตะกอนดิน เก็บตัวอย่าง 2 เดือนครั้ง ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2555

2.2 การเก็บตัวอย่างคุณภาพน้ำ

ก่อนเก็บตัวอย่างแมลงน้ำต้องทำการตรวจวัดคุณภาพน้ำก่อนทุกครั้ง คุณภาพน้ำที่ทำการตรวจวัดคือ อุณหภูมิน้ำ (water temperature: WT) และอุณหภูมิอากาศ (Air temperature: AT) ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ (pH) ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำ (electrical conductivity: EC) ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายน้ำ (total dissolved solids: TDS) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (dissolved oxygen: DO) โดยทำการตรวจวัดแต่ละปัจจัยจำนวน 3 ซ้ำ เก็บตัวอย่างน้ำในบริเวณเดียวกับที่เก็บตัวอย่างแมลงน้ำ โดยเก็บตัวอย่างน้ำจำนวน 1 ลิตร ใส่ขวดพลาสติกชนิด high density polyethylene (HDPE) และเก็บรักษาตัวอย่างน้ำไว้ที่อุณหภูมิประมาณ 4 °C เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH₄-N) ไนเตรท-ไนโตรเจน (NO₃-N) ออร์โธฟอสเฟต (PO₄³⁻) ซัลเฟต (SO₄²⁻) ค่าความเป็นด่างของน้ำ (alkalinity: ALK) ค่าความขุ่นใสของน้ำ (turbidity: TUB) เพื่อนำไปวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการตามวิธีการของ APHA, AWWA, WPCF (1992) ปัจจัยคุณภาพน้ำที่ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ มีจำนวน 12 ปัจจัย ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยคุณภาพน้ำและวิธีตรวจวิเคราะห์

ปัจจัยคุณภาพน้ำ	หน่วยที่ใช้วัด	วิธีตรวจวิเคราะห์
1. อุณหภูมิอากาศ	°C	Thermometer
2. อุณหภูมิน้ำ	°C	Thermometer
3. ความเป็นกรดเป็นด่าง	-	pH Meter รุ่น Waterproof pH tester-30
4. ปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ละลายในน้ำ	mg/L	Dissolved Oxygen Meter รุ่น DO-110
5. ค่าการนำไฟฟ้า	µs/cm	Conductivity Meter รุ่น CyberScan CON110
6. ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด	mg/L	Conductivity Meter รุ่น CyberScan CON110
7. ความขุ่นใส	FTU	spectrophotometer รุ่น DR 2000
8. ความเป็นด่าง	mg/L	Bromcresol green methyl red indicator
9. ปริมาณซัลเฟตในน้ำ	mg/L	SulfaVer 4 Method
10. ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำ	mg/L	Ascorbic Acid Method
11. ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำ	mg/L	Cadmium Reduction Method
12. ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำ	mg/L	Nessler Method

ที่มา: APHA Standard Method (APHA, 1992)

2.3 การเก็บตัวอย่างแมลงน้ำ

เก็บตัวอย่างแมลงน้ำที่อาศัยอยู่ในน้ำเชิงคุณภาพ (Qualitative method) โดยใช้สวิง (Pond net ขนาดตาข่าย 250 ไมครอน) จำนวน 3 ซ้ำเพื่อเก็บตัวอย่างแมลงน้ำให้ครอบคลุมแหล่งอาศัยย่อย (microhabitat) มากที่สุด คือ ลักษณะพื้นที่ท้องน้ำประกอบด้วยก้อนหินขนาดต่างๆ กรวด ทรายและตะกอนดิน นำตัวอย่างแมลงน้ำใส่ในขวดเก็บตัวอย่างที่มีแอลกอฮอล์ 80 % อยู่ เพื่อนำไปจำแนกชนิดในห้องปฏิบัติการ

2.4 การตรวจวินิจฉัยและการจัดจำแนกชนิดของแมลงในห้องปฏิบัติการ

คัดแยกกลุ่มแมลงน้ำทุกชนิดที่เก็บได้จากการเก็บตัวอย่างแล้วนำมาตรวจดูภายใต้กล้องสเตอริโอ โดยคัดแยกกลุ่มแมลงน้ำที่มีลักษณะรูปร่างภายนอก (Morphospecies) เหมือนกันอยู่ด้วยกัน ตรวจเอกลักษณ์ของแมลงน้ำแต่ละ

กลุ่มในระดับวงศ์ (Family) โดยพิจารณาเอกลักษณ์ต่างๆ ที่ปรากฏโดยใช้หนังสือของ Dudgeon (1999), Yule and Sen (2004) นับจำนวนและบันทึกผล

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

เปรียบเทียบค่าปัจจัยทางกายภาพและเคมีของน้ำในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (One-Way ANOVA)

วิเคราะห์ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของแซนนอน วีเนอร์ (Shannon-Wiener index: H') จากสูตร

$$H' = -\sum p_i \log(p_i)$$

เมื่อ H' = Shannon Index

P_i = ค่าความสำคัญ (Important value)

$$= \frac{\text{ประชากรชนิดนั้นๆ}}{\text{ประชากรของทุกชนิด}}$$

i = ชนิดพันธุ์นั้นๆ

ดัชนีบีเอ็มดับเบิลยูพีไทย (Biomonitoring Working Party Score: $BMWP^{THAI}$ Score) ร่วมกับค่าเอสพีที (Average Score Per Taxon: $ASPT^{THAI}$) ที่ปรับปรุงและดัดแปลงให้เหมาะสมกับการนำมาใช้กับแหล่งน้ำของประเทศไทย (Mustow, 2002)

ดัชนีบีเอ็มดับเบิลยูพีไทย (Biomonitoring Working Party Score: $BMWP^{THAI}$ Score) ค่าคะแนนเริ่มจาก 1 ถึง 10 ดังสูตร

$$BMWP \text{ Score} = \sum t_i$$

เมื่อ t_i = ค่าคะแนนของระบบที่กำหนดของแต่ละวงศ์

ค่าเอสพีที (Average Score Per Taxon: $ASPT^{THAI}$) คือการนำค่าคะแนนรวมทั้งหมดที่ได้จากบีเอ็มดับเบิลยูพีไทยด้วยจำนวนวงศ์ที่พบ ดังสูตร

$$ASPT = \sum t_i/n$$

เมื่อ t_i = ค่าคะแนนของระบบที่กำหนดของแต่ละวงศ์

n = จำนวนวงศ์ที่พบทั้งหมด

จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของแมลงน้ำในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างกับคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมี โดยใช้โปรแกรม PC-ORD Version 5.10

3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

3.1 ปัจจัยของคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมี

ค่าเฉลี่ยปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างในลำห้วยแม่ตาว ในระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 พบว่า อุณหภูมิอากาศมีค่าระหว่าง 25.55-31.28°C อุณหภูมิน้ำมีค่าระหว่าง 25.12-27.25°C ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิอากาศในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างมีความแตกต่างกัน ซึ่งเกิดมาจากช่วงเวลาของการวัดที่แตกต่าง โดยอุณหภูมิในช่วงเช้ามืดต่ำกว่าช่วงกลางวัน นอกจากนี้ลักษณะของจุดเก็บตัวอย่างยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้อุณหภูมิแตกต่างกัน โดยบางพื้นที่เป็นพื้นที่โล่งร่มเงาต้นไม้บดบังน้อย ทำให้ปริมาณแสงแดดมีผลโดยตรงกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศ ทำให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้ำมีค่าแปรผันตรงกับอุณหภูมิอากาศ โดยเมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำทำให้อุณหภูมิน้ำสูงขึ้นตามไปด้วย ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าระหว่าง 3.93-5.12 mg/L โดยความสามารถละลายน้ำของออกซิเจนขึ้นอยู่กับความดันบรรยากาศ อุณหภูมิของน้ำและปริมาณเกลือแร่ต่างๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำ ในแหล่งต้นน้ำธรรมชาติมีค่าออกซิเจนละลายในน้ำสูง เนื่องจากมีต้นไม้หนาแน่นและเป็นที่สูง อากาศเย็น การระเหยของน้ำสู่บรรยากาศน้อย ทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำได้มาก รวมถึงปัจจัยทางกายภาพต่างๆ มีผลต่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ และถ้าแหล่งน้ำนั้นไหลผ่านพื้นที่ชุมชนที่มีการทำกิจกรรมต่างๆ ที่มีการระบายน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ในแหล่งน้ำปริมาณมากอาจทำให้ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลงอย่างรวดเร็วได้ (กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2532) ความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าระหว่าง 8.03-

8.76 มีสภาพความเป็นต่างเล็กน้อย ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ปกติ โดยปกติแล้วแหล่งน้ำตามธรรมชาติจะมีค่า pH ของน้ำระหว่าง 5.0-9.0 (กรมควบคุมมลพิษ, 2535) ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำมีค่าระหว่าง 297.05-587.71 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ซึ่งจะสอดคล้องกับปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำมีค่าระหว่าง 163.30-315.10 mg/L ความขุ่นใสของน้ำมีค่าระหว่าง 13.42-157.17 FTU จากการศึกษาที่มีค่าค่อนข้างสูงในฤดูน้ำหลากซึ่งความขุ่นของน้ำจะมีผลต่อปริมาณแสงที่ส่องลงไปใต้น้ำที่ระดับความลึกมากขึ้น ทำให้มีแสงส่องลงในน้ำมีปริมาณน้อยลง ความเป็นต่างมีค่าระหว่าง 50.50-82.40 mg/L โดยค่าความเป็นต่างของน้ำเกี่ยวข้องกับปริมาณและชนิดของสารประกอบที่ละลายน้ำ สารประกอบเหล่านี้ทำให้น้ำมีค่า pH สูงกว่า 7 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้ ปริมาณซัลเฟตในน้ำมีค่าระหว่าง 15.50-38.25 mg/L ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำมีค่าระหว่าง 0.22-0.80 mg/L ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนในน้ำมีค่าระหว่าง 1.83-3.04 mg/L ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจนในน้ำมีค่าระหว่าง 0.23-0.29 mg/L (ตารางที่ 2)

ชุดินธรและจำลอง (2551) ศึกษาคุณภาพน้ำและการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำผิวดินของลำห้วยแม่ตาว พบว่า คุณภาพน้ำผิวดินของลำห้วยแม่ตาวส่วนใหญ่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 คือ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อนและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการเกษตร ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในครั้งนี้

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยปัจจัยทางกายภาพและเคมีของคุณภาพน้ำในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างบริเวณลำห้วยแม่ตาว ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2555

Site	AT (°C)	WT (°C)	DO (mg/L)	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	TDS (mg/L)
MT1	30.98±2.38 ^c	26.47±2.14 ^{ab}	4.13±0.90 ^a	8.03±0.18 ^a	297.05±85.51 ^a	163.30±31.63 ^a
MT2	29.68±3.96 ^{bc}	25.41±1.84 ^{ab}	5.03±0.95 ^a	8.56±0.11 ^{bcd}	506.83±119.26 ^b	235.88±18.58 ^b
MT3	31.01±2.69 ^c	25.48±2.16 ^{ab}	5.09±0.71 ^a	8.64±0.13 ^{cd}	500.92±114.48 ^b	237.66±51.47 ^{ab}
MT4	26.23±2.67 ^{ab}	24.97±2.53 ^{ab}	4.83±0.96 ^a	8.58±0.17 ^{cd}	440.44±111.63 ^{ab}	216.05±53.23 ^{bc}
MT5	28.20±2.13 ^{abc}	25.65±2.47 ^{ab}	3.93±1.63 ^a	8.37±0.24 ^b	513.52±132.41 ^b	251.66±50.61 ^b

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Site	TUR (FTU)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ ³⁻ (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	ALK (mg/L)
MT1	13.42±6.84 ^a	15.50±2.43 ^a	1.83±0.63 ^a	0.80±1.23 ^a	0.24±0.15 ^a	50.50±12.42 ^a
MT2	19.08±27.27 ^a	24.75±6.80 ^b	1.88±0.47 ^a	0.34±0.37 ^a	0.23±0.16 ^a	70.33±13.60 ^{ab}
MT3	13.50±18.23 ^a	34.33±5.16 ^{cd}	1.99±0.49 ^a	0.26±0.26 ^a	0.23±0.15 ^a	82.40±29.63 ^b
MT4	157.17±369.81 ^a	35.50±5.54 ^{cd}	2.76±1.33 ^{ab}	0.22±0.12 ^a	0.29±0.20 ^a	68.10±11.64 ^{ab}
MT5	14.42±23.64 ^a	38.25±6.52 ^d	2.12±0.75 ^{ab}	0.62±0.76 ^a	0.29±0.16 ^a	69.33±9.29 ^{ab}

3.2 ดัชนีชีวภาพ

เมื่อนำจำนวนของแมลงน้ำทั้งหมดที่พบในแต่ละวงค์มาคำนวณได้ค่าคะแนน (BMWP^{THAI} Score) สำหรับใช้บ่งชี้คุณภาพน้ำ และการใช้ดัชนีชีวภาพที่ได้ดัดแปลงให้เหมาะสมกับการนำมาใช้กับแหล่งน้ำของประเทศไทย ได้ค่าคะแนน (BMWP^{THAI}) (ตารางที่ 3) แล้วนำมาหารด้วยจำนวนวงค์ที่พบทั้งหมดในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง ได้ค่าเฉลี่ย ASPT^{THAI} เท่ากับ 6.08 6.20 6.27 6.44 และ 6.21 ตามลำดับ และเมื่อนำค่าคะแนนเฉลี่ย ASPT^{THAI} ที่ได้ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างไปเปรียบเทียบกับค่าคะแนนที่ได้กำหนดขึ้นตามระดับคุณภาพน้ำ 5 ระดับ คือ คุณภาพน้ำสกปรก คุณภาพน้ำค่อนข้าง

สกปรก คุณภาพน้ำปานกลาง คุณภาพค่อนข้างสะอาด คุณภาพน้ำสะอาด (รุ่งนภา, 2549) โดยเกณฑ์คุณภาพน้ำของค่า
คะแนนเฉลี่ย ASPT^{THAI} อยู่ในเกณฑ์คุณภาพน้ำปานกลาง (ตารางที่ 4)

นฤมล (2549) กล่าวว่า ค่าคะแนน ASPT^{THAI} ที่กำหนดขึ้นยังไม่เหมาะสมในการนำมาใช้กับแหล่งน้ำในประเทศไทย เพราะชนิดของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน สภาพภูมิอากาศและลักษณะทางภูมิประเทศมีความแตกต่าง จึงทำให้
ผลรวมเมื่อนำมาหารด้วยจำนวนวงศ์ที่พบทั้งหมดที่ได้จึงมีความแตกต่างกันด้วย แต่เมื่อนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับค่า
คะแนนที่ได้กำหนดขึ้นตามระดับคุณภาพน้ำแล้วคุณภาพน้ำยังอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน จากค่าคะแนนเฉลี่ย ASPT^{THAI}
ชี้ให้เห็นว่าคุณภาพน้ำในลำห้วยแม่ตาบ อยู่ในช่วงคุณภาพน้ำปานกลาง เป็นผลมาจากการใช้ประโยชน์ของที่ดินในบริเวณ
ใกล้ลำห้วยแม่ตาบ เช่น การทำเกษตรกรรมมีการใช้ปุ๋ยและสารเคมี การทิ้งของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม รวมถึง
กิจกรรมต่างๆ ตามบ้านเรือน ส่งผลเสียต่อการปนเปื้อนของมลพิษลงสู่แหล่งน้ำและเข้าสู่สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในแหล่งน้ำ
(Angelotti-Neto et al., 2004) ซึ่งมีผลทำให้ความหลากหลายและความชุกชุมของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำลดน้อยลง

ตารางที่ 3 ค่าคะแนนของกลุ่มแมลงน้ำแต่ละวงศ์ที่พบในลำห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

Taxa	BMWP ^{THAI}	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5
Coleoptera						
Hydrophilidae	5	6	6	26	20	1
Hydraenidae	5			69	31	2
Elmidae	10			52	17	14
Scirtidae	5	1	1	1	2	2
Gyrinidae	5			71	52	
Psephenidae	8	1				
Dytiscidae	5		1	13		1
Staphylinidae	8					
Dryopidae	5				2	
Diptera						
Tipulidae	5	16	20	28	11	6
Culicidae	2			20		4
Muscidae	2		1			10
Simuliidae	5	13	7	1	1	7
Chironomidae	2	39	14	21	11	440
Athericidae	2	4	1	1	1	3
Stratiomyidae	4	2		1		
Ceratopogonidae	5		1			8
Dixidae	5	1				4
Empididae	5	4				
Tanyderidae	2	1				
Ephemeroptera						
Baetidae	4	117	49	13	34	94
Caenidae	7	51	35	47	21	37
Heptageniidae	10	52	103	137	143	43
Leptophelebiidae	10	9	148	76	114	9
Ephemerellidae	10		25	7	23	4
Ephemeridae	10	5	1	96	5	7
Hemiptera						
Hydrometridae	5	1	1	19	40	11
Gerridae	5	8	4	135	129	171
Nepidae	5	4	8	21	25	7
Naucoridae	5	3	2	195	90	
Veliidae	5	15	2	20	18	
Corixidae	5	1				5
Notonectidae	5	1		1		1
Helotrephidae	5			2	3	
Aphelocheiridae	10			47		
Mesoveliidae	5				12	2

ตารางที่ 3 (ต่อ)

Taxa	BMWP ^{THAI}	MT1	MT2	MT3	MT4	MT5
Lepidoptera						
Crambidae	8			1		8
Megaroptera						
Corydalidae	4	5	8	1		
Plecoptera						
Perlidae	10		5		1	
Odonata						
Euphaeidae	6	6	127	7	7	
Chlorocyphidae	6	2	6	17	11	1
Libellulidae	6	2	76	15	33	17
Gomphidae	6	1	25	223	14	30
Coenagrionidae	6		5	2	14	10
Platynemididae	6	4	3	10	27	31
Calopterygidae	6		2	4	15	2
Corduliidae	6	2	7	19	4	5
Platystictidae	6	1		10		
Aeshnidae	6					
Trichoptera						
Hydropsychidae	5	269	596	108	285	1354
Leptoceridae	10	53	4	10	27	2
Philopotamidae	8	21	187	35	63	134
Odontoceridae	10	117	3	27	56	7
Lepidostomatidae	10	20		1		4
Calamoceratidae	8	26			4	
Helicopsychidae	8			2		
Hydroptilidae	6			1		
Glossosomatidae	10	91	23	5	2	24
Limnephilidae	7				1	
Total Taxa richness		975	1507	1618	1369	2522
Number of families		38	35	45	39	39
BMWP^{THAI}		231	217	282	251	242
ASPT^{THAI}		6.08	6.2	6.27	6.44	6.21

ตารางที่ 4 เกณฑ์คุณภาพน้ำจากค่าคะแนนเฉลี่ย ASPT^{THAI} (อ้างอิงตาม กิตติธร ชัยศรี และคณะ, 2552)

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าคะแนน ASPT ^{THAI}	เกณฑ์คุณภาพน้ำ
MT1	6.08	น้ำคุณภาพปานกลาง
MT2	6.20	น้ำคุณภาพปานกลาง
MT3	6.27	น้ำคุณภาพปานกลาง
MT4	6.44	น้ำคุณภาพปานกลาง
MT5	6.21	น้ำคุณภาพปานกลาง

3.3 ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (Shannon - Wiener index)

การใช้ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพในการติดตามตรวจสอบคุณภาพของแหล่งน้ำในลำห้วยแม่ตา ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง โดยใช้ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (Shannon-Wiener index) มีค่าเท่ากับ 1.11 0.96 1.32 1.27 และ 0.77 โดยเปรียบเทียบกับค่าคะแนนที่ได้กำหนดขึ้น ตามระดับคุณภาพน้ำ 3 ระดับ คือ คุณภาพน้ำค่อนข้างสกปรก คุณภาพน้ำปานกลาง คุณภาพน้ำสะอาด (กานต์ธิดา, 2550) โดยเกณฑ์คุณภาพน้ำในลำห้วยแม่ตาอยู่ในช่วงคุณภาพน้ำค่อนข้างสกปรก-คุณภาพน้ำปานกลาง (ตารางที่ 5)

ในจุดเก็บตัวอย่างที่ MT1, MT3 และ MT4 มีค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพมาก เนื่องจากมีการทำกิจกรรมต่างๆ ที่ทำให้เกิดมลพิษและของเสียลงสู่แหล่งน้ำน้อย อีกทั้งในบริเวณพื้นที่จุดเก็บตัวอย่างยังมีแหล่งที่อยู่อาศัยที่หลากหลาย เช่น พื้นน้ำเป็นโคลนหิน กรวดทรายขนาดใหญ่ และมีพืชน้ำตามริมฝั่ง กระแสน้ำไหลแรง ทำให้คุณภาพน้ำในจุดเก็บตัวอย่างทั้งสองอยู่ในระดับคุณภาพน้ำปานกลาง ในขณะที่พื้นที่จุดเก็บตัวอย่าง MT5 มีค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพต่ำสุด น้ำค่อนข้างสกปรก ซึ่งเป็นผลมาจากมีการทำกิจกรรมต่างๆ เช่น การทำเกษตรกรรมที่หลากหลาย มีการใช้ปุ๋ยและสารเคมี การทิ้งของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงกิจกรรมต่างๆ ตามบ้านเรือนเป็นจำนวนมาก ทำให้มีการปล่อยน้ำที่มีการปนเปื้อนสารมลพิษลงสู่แหล่งน้ำ ทำให้มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในแหล่งน้ำ (Angelotti-Neto et al., 2004) นอกจากนี้ในจุดเก็บตัวอย่างนี้มีการทำฝายปูนซีเมนต์กั้น ลักษณะพื้นที่ท้องน้ำเป็นกรวดทรายขนาดเล็ก บางจุดเป็นดินเลน มีพืชน้ำน้อย กระแสน้ำไหลผ่านช้า ซึ่งมีผลทำให้ความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำลดน้อยลง Dudgeon (1992) กล่าวว่าแหล่งที่อยู่อาศัยย่อยในลำธารมีผลต่อการแพร่กระจายและความหลากหลายของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ

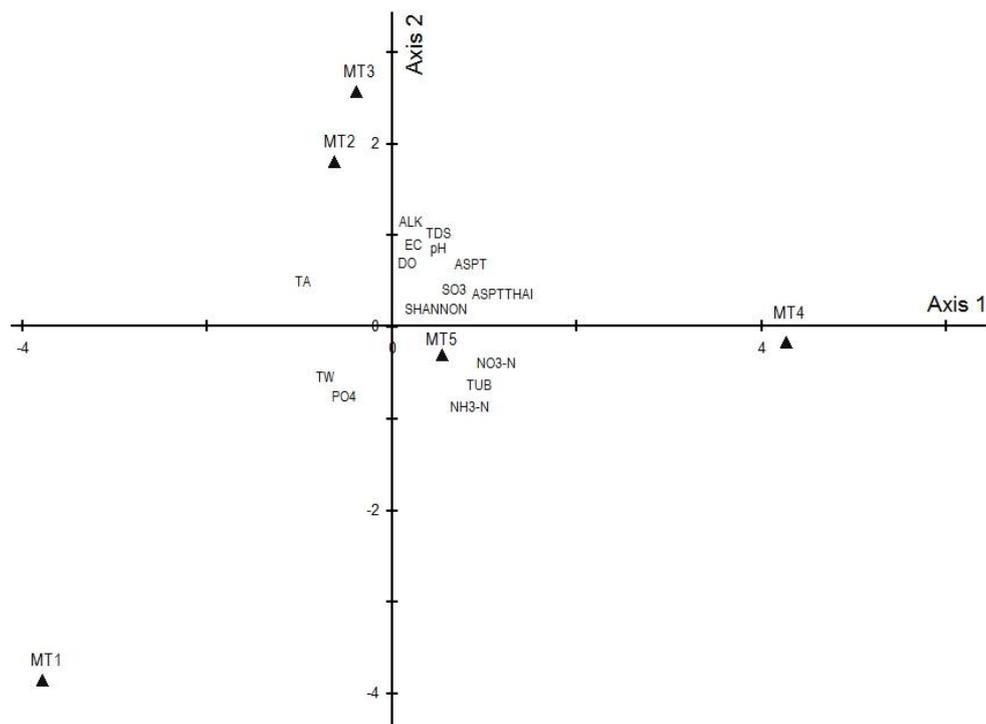
ตารางที่ 5 เปรียบเทียบเกณฑ์คุณภาพน้ำในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง โดยใช้ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (Shannon-Wiener index)

จุดเก็บตัวอย่าง	ค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (Shannon-Wiener index)	เกณฑ์คุณภาพน้ำ
MT1	1.11	น้ำคุณภาพปานกลาง
MT2	0.96	น้ำค่อนข้างสกปรก
MT3	1.32	น้ำคุณภาพปานกลาง
MT4	1.27	น้ำคุณภาพปานกลาง
MT5	0.77	น้ำค่อนข้างสกปรก

3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพของแมลงน้ำในแต่ละจุดเก็บตัวอย่างกับคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมี

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลของดัชนีชีวภาพ (ASPT^{THAI} Score) ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (Shannon - Wiener index) กับปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมี จำนวน 12 ปัจจัย ตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555 พบว่าค่าคะแนนเฉลี่ย ASPT^{THAI} และค่าดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพมีความสัมพันธ์กับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและปริมาณซิลเฟต (ภาพที่ 1)

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของดัชนีชีวภาพกับปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมี พบว่ามีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ ปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมี ล้วนแต่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิต และการสืบพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และเป็นตัวกำหนดความหลากหลายและความชุกชุมของสิ่งมีชีวิตได้ รวมถึงการปรากฏหรือไม่ปรากฏของสิ่งมีชีวิต เมื่อใดที่ปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือถูกทำให้เสียสมดุล อาจทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำในบริเวณนั้นๆ ได้ Goldman and Horne (1983) กล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติและองค์ประกอบของน้ำทางเคมีจะส่งผลโดยตรงต่อองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ได้



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีชีวภาพ (Average Score Per Taxon: ASPT) ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (Shannon - Wiener index) กับปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมีจำนวน 12 ปัจจัย ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง

4. สรุปผลการทดลอง

4.1 คุณภาพน้ำผิวดินของลำห้วยแม่ตาออยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินประเภทที่ 3 คือแหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทั้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติ และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อนและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการเกษตร ตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 ปีพ.ศ. 2537 และเกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อคุ้มครองทรัพยากรน้ำจืด

4.2 การใช้ดัชนีที่ปรับปรุงและดัดแปลงให้เหมาะสมกับการนำมาใช้กับแหล่งน้ำของประเทศไทย (BMWPT^{THAI} และค่า ASPT^{THAI}) พบว่ามีค่าคะแนนใกล้เคียงกัน ทำให้เกณฑ์คุณภาพน้ำอยู่ในช่วงคุณภาพน้ำปานกลาง

4.3 การใช้ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (Shannon - Wiener index) ในการติดตามตรวจสอบคุณภาพของแหล่งน้ำโดยเปรียบเทียบกับค่าคะแนนที่ได้กำหนดขึ้น โดยเกณฑ์คุณภาพน้ำในลำห้วยแม่ตาออยู่ในช่วงคุณภาพน้ำปานกลาง ซึ่งเกณฑ์คุณภาพน้ำที่ได้จากดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ มีความสอดคล้องกับการใช้ดัชนีชีวภาพค่าคะแนนเฉลี่ย ASPT^{THAI}

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีชีวภาพ (Average Score Per Taxon: ASPT) ดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพ (Shannon - Wiener index) กับปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมีจำนวน 12 ปัจจัย พบว่ามีความสอดคล้องกับผลการตรวจวัดของปัจจัยคุณภาพน้ำทางกายภาพและทางเคมี

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยประเภททุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ 2556 แก่นางสาวนางสาวนัสรียา หมีนหวัง และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัยแก่นายอำพล พยัคฆาในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- กองจัดการคุณภาพน้ำ. (2540). *เกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำและมาตรฐานคุณภาพน้ำประเทศไทย*. กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.
- กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2532). *โครงการศึกษาและวิจัยคุณภาพน้ำในแม่น้ำสายหลัก รายงานการศึกษาวิจัยคุณภาพน้ำแม่น้ำแม่กลอง พ.ศ. 2529 – 2531*. สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 76 น.
- กานต์ธิดา เชียงทอง. (2550). การใช้แมลงน้ำเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำในลุ่มน้ำแม่คำ จังหวัดเชียงราย. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*; 12(3): 277-288.
- กิตติธร ชัยศรี, ทัดพร คุณประดิษฐ์, ยุวดี พิรพรพิศาล, ชิตชล ผลารักษ์. (2552) การกระจายตัวของแมลงน้ำในแม่น้ำลาว จังหวัดเชียงราย. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง ปีที่ 3 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน*.
- ชุตินธร มุลทองน้อย และจำลอง อรุณเลิศอารีย์. 2008. คุณภาพน้ำและการปนเปื้อนของโลหะหนักในน้ำผิวดินของห้วยแม่ตาว จังหวัดตาก. *Environment and Natural Resources Journal*, 6 (2): 103-112.
- นฤมล แสงประดับ. (2554). การจำแนกคุณภาพน้ำทางชีวภาพด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน. *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*; 3(1): 6-8.
- _____. (2549). การประเมินคุณภาพแหล่งน้ำจืดด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน. *วารสารวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น*. 34(1): 34-36.
- รุ่งนภา ทากัน. (2549). *การใช้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ประเภทพื้นท้องน้ำเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำทางชีวภาพของแม่น้ำปิง ปี 2547-2548*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- เปี่ยมศักดิ์ มานะเศวต. (2525). *แหล่งน้ำกับปัญหามลภาวะ*. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- Angelotti-Netto, A., Crestana, S., De Oliveira, S. C., & Barbosa, R. V. R. (2004). *Metais pesados provenientes de atividade agrícola: Formas, prevenção e controle*. In: *Bacias hidrográficas* (pp. 1–14). São Carlos: Rima Editora.
- APHA, AWWA, WPCF. (1992). *Standard method for the examination of water and wastewater*. 18thed. American Public Health Association. Washington DC.
- Dudgeon, D. (1992). *Patterns and Processes in Stream Ecology*. Asynoptic Review of Hong Kong Running Water. Stuttgart: Schweizerbart'scheverlags buchhandlung.
- Dudgeon, D. (1999). *Tropical Asian Stream: Zoobenthos, Ecology and Conservation*. Hong Kong University Press. Hong Kong.
- Mustow, S.E. (2002). Biological Monitoring of rivers in Thailand: use and adaptation of the BMWP Score. *Hydrobiologia* 479: 191-229.
- Yule, C.M. & Sen, Y.H. (2004). *Freshwater Invertebrates of the Malaysian Region*. Aura Productions Sdn. Bhd. Selangor, Malaysia.

คณะผู้เขียน

นัสรียา หมิ่นหวัง

สายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อำพล พยัคฆา

สายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แดงอ่อน พรหมมิ

สายวิชาวิทยาศาสตร์ คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

e-mail address: faastop@ku.ac.th